



**Europäisches  
Patentamt**

**European  
Patent Office**

**Office européen  
des brevets**

REC'D 08 DEC 2004

WIPO

PCT

PCT/IB04/52518

**Bescheinigung**

**Certificate**

**Attestation**

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

**Patentanmeldung Nr.    Patent application No.    Demande de brevet n°**

03104503.2

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

**R C van Dijk**



Anmeldung Nr:  
Application no.: 03104503.2  
Demande no:

Anmeldetag:  
Date of filing: 02.12.03  
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Philips Intellectual Property GmbH

20099 Hamburg  
ALLEMAGNE  
Koninklijke Philips Electronics N.V.  
Groenewoudseweg 1  
5621 BA Eindhoven  
PAYS-BAS

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:  
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.  
If no title is shown please refer to the description.  
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

Vorrichtung und Verfahren zur Defektkorrektur in Röntgenaufnahmen

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)  
revendiquée(s)  
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/  
Classification internationale des brevets:

G06T5/00

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of  
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL  
PT RO SE SI SK TR LI

BESCHREIBUNG

## Vorrichtung und Verfahren zur Defektkorrektur in Röntgenaufnahmen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Korrektur von Defekten in Röntgenaufnahmen mit Hilfe einer Defektkarte. Ferner betrifft sie eine zur Durchführung eines derartigen

- 5 Verfahrens eingerichtete Datenverarbeitungseinrichtung.

- Die mit bildgebenden Einrichtungen wie beispielsweise Videokameras, Digitalkameras oder Röntgendetektoren erzeugten Aufnahmen werden in der Regel Verarbeitungsprozeduren unterworfen, um verschiedene Artefakte zu korrigieren. So wird beispielsweise bei
- 10 Röntgenbildern ein Offset-Referenzbild subtrahiert und durch ein Gain-Referenzbild dividiert, um lokale Variationen der Detektorelemente zu kompensieren. Des Weiteren ist es üblich, Defekte von einzelnen Bildelementen wie Pixeln, Zeilen oder Spalten mit Hilfe sogenannter Defektkarten zu korrigieren. Dabei werden zum Beispiel Röntgenaufnahmen an den in der Defektkarte verzeichneten Fehlerstellen durch Interpolation der Werte
- 15 funktionstüchtiger Nachbarelemente korrigiert. Defektkarten werden üblicherweise in Kalibrationsprozeduren gewonnen, in denen eine Vielzahl von homogenen Testaufnahmen erzeugt wird. Da sich Defekte von Bildelementen im Laufe der Lebensdauer eines Röntgendetektors einstellen können, müssen die Kalibrierungsprozeduren von Zeit zu Zeit wiederholt werden. Aufgrund des damit verbundenen Aufwandes sowie der Unterbrechung
- 20 des normalen Detektorbetriebes werden die Zeitabstände zwischen zwei Kalibrationen typischerweise möglichst groß gewählt. Dies hat jedoch zur Folge, dass neue Defekte über lange Zeiträume unerkannt und damit unkorrigiert bleiben können.

- Aus der US 6 035 072 ist für den Betrieb von Fotokopierern ein Verfahren bekannt, bei dem räumlich stationäre Störungen wie Schmutzpartikel oder defekte Sensorelemente aus
- 25 Fotokopien, die während des laufenden Betriebes erzeugt werden, erkannt werden. Eine mit einem Median-Filter verarbeitete Fotokopie wird dabei von der ursprünglichen Kopie subtrahiert, um potentielle Defektstellen zu erkennen. Gegebenenfalls kann auf der Kopie enthaltener Text vorab segmentiert werden, um derartige Bereiche von der Verarbeitung
- 30 auszuschließen. Problematisch bei einem derartigen Verfahren ist, dass quasi jede

Kontraststufe als potentieller Defekt klassifiziert wird. Das Verfahren setzt daher implizit einen homogenen Bildhintergrund wie etwa bei Schrift auf Papier voraus. Bei der Verarbeitung von Röntgenaufnahmen, die einen stark variierenden Bildinhalt mit einem zusätzlich überlagerten Quantenrauschen aufweisen, würde dagegen eine Vielzahl von  
5 Artefakten die Erkennung von Defekten stören.

Vor diesem Hintergrund war es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Mittel zur einfachen und sicheren Korrektur von Defekten in Röntgenaufnahmen bereitzustellen.

- 10 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch eine Datenverarbeitungseinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen enthalten.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient der Korrektur von Defekten in Röntgen-  
15 aufnahmen, wobei unter "Defekten" vorliegend in ihrer Funktion ausgefallene oder gestörte Bildelemente verstanden werden sollen. Typisch für einen Defekt ist es daher, dass er immer an derselben Stelle von Röntgenaufnahmen auftritt. Ein "Bildelement" kann in diesem Zusammenhang sowohl für einen einzelnen Bildpunkt (Bildsensor, Detektor-  
element oder Pixel) als auch für Gruppen derartiger Bildpunkte stehen, insbesondere für  
20 Zeilen oder Spalten von Bildpunkten eines Detektors oder Teile hiervon. Typischerweise werden in einem Bildelement alle Bildpunkte zusammengefasst, welche aufgrund der physikalischen Konstruktion des Röntgendetektors bei einem Fehler gemeinsam ausfallen können. Jedem Bildelement ist in einer Röntgenaufnahme ein Wert zugeordnet. Falls das Bildelement ein einzelner Bildpunkt ist, ist dies der hiervon erfasste Sensorwert (zum  
25 Beispiel Grauwert). Falls das Bildelement mehrere Bildpunkte umfasst, soll unter dem "Wert des Bildelementes" nachfolgend ein geeignet gebildeter repräsentativer Wert der einzelnen Bildpunktwerte verstanden werden, z.B. deren Median, Minimum, Maximum oder Durchschnitt.

- 30 Das Verfahren enthält die folgenden Schritte:

a) In Röntgenaufnahmen, die mit der aktuell gültigen Defektkarte vorkorrigiert wurden, werden Bildelemente als "potentiell defekt" klassifiziert, wenn ihr Wert

um ein gegebenes Maß vom Intervall der Bildelementwerte in einer ihnen zugeordneten Nachbarschaft abweicht. Die Röntgenaufnahmen können dabei insbesondere die während des laufenden Betriebs eines Röntgendetektors erzeugten Nutzaufnahmen (im Gegensatz zu eigens angefertigten Testaufnahmen) sein. Die zugeordnete Nachbarschaft eines Bildelementes enthält alle oder einige der räumlich benachbarten Bildpunkte bzw. Bildelemente, wobei in der Figurenbeschreibung verschiedene mögliche Topologien detaillierter erläutert werden.

Alle als "potentiell defekt" klassifizierten Bildelemente werden in einer Karte, der sogenannten "Kandidatenkarte", eingetragen. Vorzugsweise werden dabei auch Zusatzinformationen wie etwa ein Wahrscheinlichkeitsmaß für die Korrektheit der Klassifikation gespeichert.

b) Die Aktualisierung der Defektkarte durch Aufnahme aller Bildelemente der Kandidatenkarte, welche in mehreren Röntgenaufnahmen verschiedenen Bildinhaltes als "potentiell defekt" klassifiziert wurden und welche gegebenenfalls weitere Kriterien erfüllen, in die Defektkarte.

c) Die Korrektur von weiteren bzw. nachfolgenden Röntgenaufnahmen mit Hilfe der in Schritt b) aktualisierten Defektkarte. Diese Korrektur kann dabei in einer aus dem Stand der Technik bekannten Weise, zum Beispiel durch Interpolation aus Nachbarwerten, ausgeführt werden.

Das beschriebene Verfahren hat den Vorteil, dass eine Defektkarte mit Röntgenaufnahmen erzeugt bzw. aktualisiert werden kann, die während des laufenden Betriebs eines Detektors erzeugt werden. Es ist daher nicht erforderlich, den Betrieb von Zeit zu Zeit zu unterbrechen und in einer aufwändigen Kalibrationsprozedur Testaufnahmen zu erzeugen. Obwohl keine homogen belichteten Aufnahmen vorliegen, erfolgt die Erkennung von Defekten mit verhältnismäßig großer Sicherheit, da ihr die isolierte Abweichung von Bildelementen in Bezug auf ihre Nachbarschaft zugrunde liegt.

Zusammen mit den als "potentiell defekt" klassifizierten Bildelementen werden in Schritt a) des Verfahrens vorzugsweise die Aufnahmeparameter der jeweils zugehörigen Röntgenaufnahme gespeichert bzw. die Bildelemente werden durch diese Parameter indiziert. Bei den Aufnahmeparametern kann es sich insbesondere um die Strahlqualität, die Dosis, die Detektortemperatur und/oder die Aufnahmegeometrie während der Röntgenaufnahme handeln. In Schritt b) werden dann aus den so charakterisierten Bildelementen unterschiedliche Defektkarten für verschiedene Wertebereiche der Aufnahmeparameter erzeugt bzw. aktualisiert. Durch das Verfahren werden somit mehrere Defektkarten für verschiedene Aufnahmebedingungen bereitgestellt, so dass weitere Röntgenaufnahmen jeweils mit einer zu ihren Aufnahmebedingungen passenden Defektkarte korrigiert werden können. Dieses Vorgehen trägt der Tatsache Rechnung, dass manche Defekte von den Aufnahmeparametern abhängig sind. Zum Beispiel können einzelne Pixel nur beim Warmlaufen des Detektors bzw. bei verhältnismäßig niedrigen Betriebstemperaturen funktionsuntüchtig sein, bei normalen Betriebstemperaturen dagegen ordnungsgemäß arbeiten. Falls bei Verwendung einer einzigen Defektkarte ein derartiges Pixel darin verzeichnet wäre, würden bei normaler Betriebstemperatur des Detektors Röntgenaufnahmen überflüssigerweise an der entsprechenden Stelle korrigiert. Enthielte die Defektkarte dagegen das Pixel nicht, so blieben während des Warmlaufens des Detektors erzeugte Röntgenaufnahmen an dieser Stelle unkorrigiert. Nur durch die erfindungsgemäße Verwendung von verschiedenen Defektkarten für verschiedene Betriebstemperaturen kann in allen Fällen jeweils eine optimale Defektkorrektur erfolgen.

Vorzugsweise wird der Wert eines als "potentiell defekt" klassifizierten Bildelementes in der zugehörigen Röntgenaufnahme unmittelbar in Abhängigkeit von den Werten der Bildelemente aus seiner Nachbarschaft korrigiert. Insbesondere kann der Wert des Bildelementes durch Abschneiden auf ein Intervall begrenzt werden, das einen bestimmten Absolutbetrag bzw. Prozentsatz unterhalb des Minimums der Bildelementwerte der Nachbarschaft beginnt und einen bestimmten Absolutbetrag bzw. Prozentsatz oberhalb des entsprechenden Maximums endet. Durch eine derartige Begrenzung des Wertes eines potentiell defekten Bildelementes können gravierende Defekte mit erheblichen Abweichungen der zugehörigen Werte bereits unmittelbar bei ihrem ersten Auftreten

vorkorrigiert bzw. (teil-)kompensiert werden, bevor sie statistisch sicher als Defekt nachgewiesen werden können.

- 5 Gemäß einer ähnlich gelagerten Weiterbildung des Verfahrens wird eine in Schritt a) analysierte Röntgenaufnahme auf der Basis der aktuellen Defektkarte und der aktuellen Kandidatenkarte erneut korrigiert. Auch hierbei wird somit das vorläufige Ergebnis der laufenden Analyse von Röntgenaufnahmen unmittelbar für deren Korrektur angewendet.

- 10 Die in Schritt a) des Verfahrens betrachtete "zugeordnete Nachbarschaft" eines Bildelementes kann immer gleich gemäß einer vordefinierten Geometrie bzw. Topologie bestimmt werden. Vorzugsweise wird sie jedoch situationsabhängig so definiert, dass sie die Erkennung von aneinandergrenzenden defekten Bildelementen erlaubt. Wenn nämlich in der (vollständigen) Nachbarschaft eines defekten Bildelementes ein zweites defektes Bildelement liegt, so kann möglicherweise beim Vergleich zwischen dem ersten
- 15 Bildelement und seiner Nachbarschaft keine auffällige Abweichung festgestellt werden. Eine Detektion des ersten Defektes ist jedoch möglich, wenn eine um das zweite defekte Bildelement reduzierte Nachbarschaft betrachtet wird.

- 20 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorstehenden Verfahrensvariante umfasst die zugeordnete Nachbarschaft eines Bildelementes diejenigen Bildelemente aus einer vordefinierten topologischen bzw. geometrischen Umgebung, deren Bildelementwert mindestens eine vorgegebene Anzahl  $n$  von Rängen hinter dem Maximum und/oder Minimum aller Bildelementwerte der gesamten Umgebung liegt. Mit anderen Worten werden aus der Umgebung diejenigen Bildelemente weggelassen, welche den größten,
- 25 zweitgrößten, ...  $n$ -tgrößten oder kleinsten, zweitkleinsten, ...  $n$ -tkleinsten etc. Bildelementwert der Umgebung haben. Auf diese Weise können defekte Bildelemente der Umgebung aussortiert werden, die sich durch extremale Werte auszeichnen.

- 30 Gemäß einer anderen Weiterbildung des Verfahrens werden solche Bildelemente von der Klassifizierung in Schritt a) ausgeschlossen, für deren Umgebung die Werte der Bildpunkte nicht in einem vorgegebenen Bereich liegen. Mit anderen Worten werden in einer Röntgenaufnahme solche Regionen nicht auf potentielle Defekte untersucht, in denen die

- Belichtungs-dosis außerhalb eines vorgegebenen Intervalls liegt. Auf diese Weise können insbesondere unbelichtete Bereiche, wie sie zum Beispiel hinter Metallimplantaten eines Patienten auftreten, von der Analyse ausgeschlossen werden. Dies ist vorteilhaft, da die dort vorliegenden Bildpunkt-werte im Wesentlichen durch das Rauschen der Elektronik
- 5 bestimmt werden und daher nicht durch die Abbildung lokal korreliert sind. Vorzugsweise wird der Ausschluss von Bildelementen dahingehend weitergebildet, dass nur zusammenhängende Bereiche mehrerer Bildelemente ausgeschlossen werden, ein einzelnes oder einige wenige isolierte Bildelemente dagegen nicht. Ein vom Intervall abweichender Wert eines isolierten Bildelementes kann nämlich auch durch einen nachzuweisenden
- 10 Defekt verursacht werden.

- Das in Schritt a) des Verfahrens angewendete Maß für die Abweichung eines Bildelementwertes von seiner zugeordneten Nachbarschaft kann insbesondere dahingehend definiert werden, dass ein Bildelement als "potentiell defekt" klassifiziert wird, wenn sein
- 15 Wert unter dem Minimum bzw. über dem Maximum der Werte der Bildelemente aus seiner Nachbarschaft liegt. Mit anderen Worten werden lokale Minima oder Maxima von Werten der Bildelemente als potentielle Defekte eingestuft. Da ein solches lokales Minimum oder Maximum auch durch eine reale Objektstruktur erzeugt werden kann, ist es wichtig, dass die entsprechende Stelle zunächst nur als potentieller Defekt eingestuft
- 20 wird, und dass diese Beurteilung durch weitere Röntgenaufnahmen überprüft wird.

- Die in Schritt b) genannten optionalen Kriterien, die ein als "potentiell defekt" klassifiziertes Bildelement erfüllen muss, um in die Defektkarte aufgenommen zu werden, können je nach Anwendungsfall verschieden festgelegt werden. Insbesondere kann ein
- 25 Kriterium sein, dass das betreffende Bildelement mindestens in einer vorgegebenen Zahl von Röntgenaufnahmen untersucht wurde. Bereiche wie insbesondere die Ränder eines Detektorfeldes werden typischerweise seltener belichtet als das Detektorzentrum. Um statistisch zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, ist es daher wichtig, die tatsächliche Anzahl der Untersuchungen eines bestimmten Bildelementes zu berücksichtigen und diesbezüglich
- 30 eine Mindestanzahl zu fordern.



Ein anderes optionales Kriterium beinhaltet, dass das betreffende Bildelement in mindestens einer vorgegebenen Zahl von Fällen als "potentiell defekt" klassifiziert wurde. Auch auf diese Weise wird gewährleistet, dass eine ausreichende statistische Sicherheit besteht und nicht ein Bildelement aufgrund einer einzigen bzw. einiger weniger

5 Klassifizierungen als defekt eingestuft wird.

Schließlich kann ein Kriterium sein, dass das betreffende Bildelement in mindestens einem vorgegebenen Prozentsatz der untersuchten Fälle als "potentiell defekt" klassifiziert wurde.

Der entsprechende Prozentsatz ist je nach Anwendungsfall geeignet festzulegen, zum  
10 Beispiel auf ca. 10%. Auf diese Weise können auch solche Defekte in die Defektkarte aufgenommen werden, welche nur intermittierend auftreten ("blinkende Pixel"). Dabei bleiben jedoch nur sehr selten ausfallende Bildpunkte in der Defektkarte unberücksichtigt, da ihre Korrektur gegebenenfalls mehr Störungen verursachen würde als ihr unkorrigiertes Beibehalten.

15 Vorzugsweise wird das beschriebene Verfahren kontinuierlich mit den von einer Röntgenapparatur erzeugten Röntgenaufnahmen durchgeführt, d.h. die verwendete Defektkarte wird mit Hilfe der fortlaufend ausgewerteten Röntgenaufnahmen ständig bzw. in gewissen Zeitabständen aktualisiert.

20 Die Erfindung betrifft ferner eine Datenverarbeitungseinrichtung zur Korrektur von Defekten in Röntgenaufnahmen mit Hilfe einer Defektkarte, welche dazu eingerichtet ist, die folgenden Schritte auszuführen:

a) Klassifizierung von Bildelementen einer mit der aktuellen Defektkarte  
25 vorkorrigierten Röntgenaufnahme als "potentiell defekt", wenn ihr Wert um ein gegebenes Maß vom Intervall der Bildelementwerte in ihrer zugeordneten Nachbarschaft abweicht, und Speicherung der so klassifizierten Bildelemente in einer Kandidatenkarte;

b) Aktualisierung der Defektkarte durch alle Bildelemente der Kandidatenkarte,  
30 welche in mehreren der Röntgenaufnahmen verschiedenen Bildinhaltes als "potentiell defekt" klassifiziert wurden und welche gegebenenfalls weitere vorgegebene Kriterien erfüllen;

- c) Korrektur von weiteren Röntgenaufnahmen mit Hilfe der aktualisierten Defektkarte.

Die Datenverarbeitungseinrichtung kann ein Verfahren der oben erläuterten Art ausführen.

- 5 Hinsichtlich der Einzelheiten, Vorteile und Weiterbildungen der Datenverarbeitungseinrichtung wird daher auf die obige Beschreibung verwiesen.

Im Folgenden wird die Erfindung mit Hilfe der Figuren beispielhaft erläutert. Es zeigt:

- 10 Fig. 1 eine Datenverarbeitungseinrichtung mit verschiedenen Komponenten zur Korrektur von Röntgenaufnahmen;

Fig. 2 ein Flussdiagramm der Prozedur zur Überprüfung, ob es sich bei einem Bildelement um einen potentiellen Defekt handelt;

15

Fig. 3 verschiedene Nachbarschaftsdefinitionen für einzelne Pixel.

- Figur 1 zeigt schematisch die an der Korrektur der Röntgenaufnahme R beteiligten Komponenten, welche alle in einer Datenverarbeitungseinrichtung 2 (in der Regel durch Softwaremodule) realisiert sind. Mit einer von der Röntgenapparatur 1 erzeugten Röntgenaufnahme R wird zunächst eine Offset-Korrektur vorgenommen, bei welcher ein ohne Belichtung aufgenommenes Dunkel- oder Offset-Referenzbild Q vom Röntgenbild R abgezogen wird, um additive reproduzierbare Bildfehler zu kompensieren. Das Offset-Referenzbild Q wird in der Regel im Abstand von wenigen Minuten erneuert, wobei es häufig aus der Mittelung mehrerer Einzelbilder hervorgeht.

25

Des Weiteren wird eine sogenannte Gain-Korrektur vorgenommen, bei welcher das Offset-korrigierte Röntgenbild durch ein homogenes Gain-Referenzbild G dividiert wird. Um dabei Zahlenwerte kleiner als 1 zu vermeiden, wird der Quotient in der Regel gleichzeitig noch mit einem großen Skalierungsfaktor  $s_c$  multipliziert (Blöcke 5, 6, 7).

30

Schließlich werden in Block 9 die in einer Defektkarte D (Block 8) markierten defekten Bildelemente anhand ihrer Nachbarwerte (zum Beispiel durch Interpolation) korrigiert.

Die Korrektur betrifft dabei Einzelpixel, kleine Gruppen von Pixeln, Zeilen oder Spalten des Detektors sowie Teile hiervon.

- Die Defektkarte D wird beim Stand der Technik durch die Analyse vieler homogener
- 5 Testaufnahmen gewonnen. Eine solche Kalibration muss durch das Servicepersonal des Röntgendetektors oder den Benutzer vorgenommen werden, da sie die Anwendung von Röntgenstrahlung beinhaltet und somit nicht automatisiert werden darf. Die Kalibration muss in regelmäßigen Zeitabständen wiederholt werden, da mit einer geringen
- 10 Wahrscheinlichkeit auch im Betrieb eines Röntgendetektors noch Bildelemente ausfallen. Aufgrund des mit einer Kalibration verbundenen Aufwandes wird diese typischerweise in großen Zeitabständen von ein bis drei Monaten durchgeführt. In der Zwischenzeit entstandene Defekte bleiben dann jedoch lange unerkannt und verursachen Fehler in den entsprechenden Röntgenaufnahmen. Aus diesem Grunde wären kürzere Kalibrations-
- 15 abstände von ein bis drei Tagen wünschenswert. Falls Kalibrationen derartig oft ausgeführt werden, geschieht dies in der Regel jedoch mit einer reduzierten Anzahl von Testaufnahmen, was wiederum zu Lasten der statistischen Sicherheit geht. Wenige
- 20 Aufnahmen haben ferner den Nachteil, dass intermittierende Defekte (blinkende Pixel) sowie Defekte, die nur unter bestimmten Umständen auftreten (zum Beispiel nach dem Einschalten oder nach sehr langer Betriebsdauer), nicht erkannt werden können.
- Vorliegend wird daher ein Verfahren vorgeschlagen, welches die Berechnung einer Defektkarte aus im laufenden Betrieb eines Röntgendetektors erzeugten Röntgen-
- 25 aufnahmen (Patientenbildern) erlaubt. Das Verfahren besteht allgemein darin, dass zunächst in jeder Röntgenaufnahme potentiell defekte Bildelemente durch einen Vergleich ihres (Grau-)Wertes mit den Werten in ihrer Nachbarschaft identifiziert werden. Die
- Identifikation in einem einzelnen Bild wird dann aber noch nicht zum Anlass genommen, das Bildelement in eine Defektkarte aufzunehmen, da "falsch positive" Identifizierungen sonst schnell zu einem Anwachsen der Zahl der Defekte über erlaubte Grenzen hinaus
- 30 führen würden. Die in Einzelaufnahmen gefundenen "Kandidaten" werden daher zunächst in einer Kandidatenkarte C\_map eingetragen. Erst wenn hinreichend viele Röntgen-
- aufnahmen gemacht wurden und diese zeigen, dass das entsprechende Bildelement oft als

defekt erkannt wurde, wird dieses endgültig in die Defektkarte D eingetragen. Ein solches Auffrischen der Defektkarte kann in regelmäßigen kurzen Intervallen wiederholt werden.

Nachfolgend wird überwiegend der Fall zugrunde gelegt, dass es sich bei den

- 5   Bildelementen um einzelne Bildpunkte (Pixel) handelt. Das Verfahren ist jedoch ebenso anwendbar zur Identifikation defekter Zeilen und/oder Spalten sowie von Teilen hiervon, wobei in diesen Fällen an die Stelle der Analyse von Pixelwerten typischerweise die Betrachtung von Extrem-, Mittel- oder Medianwerten der entsprechenden Bildelemente tritt.

10

Ein Bildpunkt oder Pixel entspricht der kleinsten physikalischen Baugruppe eines Röntgen(flach)detektors. Ein Pixel besteht zum Beispiel aus einer Fotodiode, einer Schalt-Diode oder einem Schalt-Transistor (TFT). Die Korrelation benachbarter Pixel ist durch das Auflösungsvermögen des Systems begrenzt, welche durch die MTF (Modulation

- 15   Transfer Function) beschrieben wird. Durch diese Begrenzung kann sich jeder Bildpunkt nur um einen maximalen Faktor von seinen Nachbarwerten unterscheiden. Dieser maximale Unterschied kann z.B. in Aufnahmen von kleinen Bleikörnchen abgeschätzt werden. In klinischen Röntgenaufnahmen sind im Übrigen auch die Objekte selbst ein Grund für eine starke Korrelation. So hat zum Beispiel eine kleinere Kugel primär einen  
20   kleineren Kontrast als eine größere Kugel.

Für Zeilen und Spalten gilt, dass ihre Mittelwerte immer sehr stark korreliert sind. Die größte denkbare Störung dieser Korrelation würde ein genau in Zeilen- bzw.

- Spaltenrichtung verlaufender, sehr gerader und sehr dünner Draht darstellen. Tatsächlich  
25   auftretende größere Unterschiede immer derselben Zeile/Spalte zu ihren Nachbarn sind daher in der Regel nur durch funktionale Störungen dieser Zeile/Spalte zu erklären.

- Diese Bemerkungen vorausgeschickt wird nunmehr die Analyse eines einzelnen Bildelementes p gemäß dem Flussdiagramm von Figur 2 näher erläutert. In Block 10 dieses  
30   Flussdiagramms wird ein Bildelement p (Pixel) aus einer (mit der aktuellen Defektkarte vorkorrigierten) Röntgenaufnahme I ausgewählt, wobei das dargestellte Verfahren sequentiell für alle Bildelemente der Röntgenaufnahme I durchgeführt wird. Weiterhin

wird in Block 10 überprüft, ob der (Grau-)Wert  $W(p)$  des Bildelementes zwischen vorgegebenen Grenzen  $W_{\min}$  und  $W_{\max}$  liegt, d.h. ob es mit einer mittleren Dosis belichtet wurde. Wenn dies der Fall ist, wird an der dem Bildelement  $p$  entsprechenden Stelle der Wert einer Testzahl-Karte  $T_{\text{map}}$  um Eins erhöht (Block 16), und das Bildelement  $p$  wird

5 gemäß dem rechten Zweig von Figur 2 weiter analysiert, ob hier ein Defekt vorliegt. Die Einträge der Testzahl-Karte  $T_{\text{map}}$  protokollieren somit für jedes Bildelement, wie oft es auf einen Defekt hin analysiert wurde.

In der Praxis wird die Auswahl der zu analysierenden Bildelemente  $p$  noch etwas

10 differenzierter durchgeführt als vorstehend erläutert. Dabei werden zunächst alle Bildelemente in eine Hilfskarte eingetragen, deren Wert nicht zwischen  $W_{\min}$  und  $W_{\max}$  liegt. Diese Hilfskarte verzeichnet daher nach Fertigstellung alle un- bzw. unterbelichteten und überbelichteten Stellen der Röntgenaufnahme. Isoliert liegende Bildelemente werden dann aus dieser Hilfskarte wieder entfernt, da es sich hierbei gerade um die zu ermittelnden

15 Defekte handeln kann. Eine solche Entfernung kann beispielsweise mit den aus der Bildverarbeitung bekannten, nacheinander ausgeführten Verfahren der Dilatation und anschließenden Erosion erfolgen. Alle abschließend nicht in der Hilfskarte verzeichneten Bildelemente  $p$  werden dann der nachfolgend beschriebenen Analyse zugeführt.

20 Diese Analyse eines in Block 10 ausgewählten Bildelementes  $p$  beginnt in Block 11 mit der Ermittlung von dessen Nachbarschaft  $n(p)$ . Beispiele für mögliche Definitionen von Nachbarschaften (d.h. Gruppen von Bildpunkten  $n$ ) zu einem gegebenen Bildpunkt  $p$  sind in Figur 3 dargestellt. Vorliegend wird für die Analyse einzelner Pixel  $p$  eine Nachbarschaft gemäß Beispiel d von Figur 3 bevorzugt. Um defekte Zeilen oder Spalten zu finden, wäre

25 dagegen eine Nachbarschaftsdefinition gemäß den Alternativen von Figur 3f am besten geeignet.

In Block 12 werden der minimale und der maximale Wert der Bildpunkte der Nachbarschaft  $n(p)$  berechnet, d.h.  $G_u := \min(n(p))$  und  $G_o := \max(n(p))$ . In Block 13

30 wird anschließend untersucht, ob der Wert  $W(p)$  des betrachteten Bildelementes  $p$  im erweiterten Intervall  $[G_u - \Delta_u, G_o + \Delta_o]$  der Nachbarwerte liegt, wobei die Abstände  $\Delta_u, \Delta_o \geq 0$  konstant sein oder in Abhängigkeit von den jeweiligen Bildelementwerten

vorgegeben werden können. Liegt  $W(p)$  im genannten Intervall, so ist das Bildelement  $p$  unauffällig, und die Analyse wird beendet (Block 14). Andernfalls wird in Block 17 die Karte  $C\_map$  der potentiellen Defekte bzw. der "Kandidaten" für Defekte an der Stelle des Bildelementes  $p$  um Eins erhöht.

5

Optional kann in Block 15 auch der Wert des betrachteten Bildelementes  $p$  auf die maximale Größe  $W'(p) = G_o + T_a$  begrenzt werden, wobei  $T_a > 0$  ein vorgegebener Abstand ist. Durch das Begrenzen auf einen gerade noch wahrscheinlichen Extremwert wird ein noch nicht statistisch sicher nachgewiesener Kandidat für einen Defekt bereits im

10 Kontrast gemildert. Durch die Änderung von  $W(p)$  in den begrenzten Wert  $W'(p)$  des Bildelementes  $p$  wird dabei aus der Röntgenaufnahme  $I$  eine nachkorrigierte Röntgenaufnahme  $I\_korr$  erzeugt (Block 18).

Die Differenz  $W(p) - W'(p)$  zwischen dem ursprünglichen und dem begrenzten

15 Bildelementwert wird in Block 19 in einer Protokolldatei  $Da$  festgehalten. Mit Hilfe der Protokolldatei  $Da$  lassen sich geeignete Werte für die Abstände  $\Delta_u$ ,  $\Delta_o$ ,  $T_a$  ermitteln. Dabei wird in einem Durchlauf vieler Bilder testweise mit  $\Delta_u$ ,  $\Delta_o$ ,  $T_a = 0$  gearbeitet, so dass alle (auch die rauschbedingten) Maxima detektiert und deren Unterschiede in die Protokolldatei eingetragen werden. Wird die Protokolldatei dann z.B. graphisch als

20 Histogramm darstellt, werden in der Regel unterhalb eines bestimmten Wertes sehr viele Daten liegen (rauschbedingt), darüber in einem bestimmten Intervall noch einige Werte (extreme Kanten) und darüber (hier liegen die gesuchten Schwellwerte) nur noch vereinzelte Werte aufgrund tatsächlicher Defekte.

25 Die Karten  $T\_map$  und  $C\_map$  werden vorzugsweise als Teil einer mehrdimensionalen Kandidatenmatrix aufgefasst, die zusätzlich auch noch andere Informationen wie die Strahlqualität, die Dosis, die Detektortemperatur, eine Patientenidentifikationsnummer, die Aufnahmeart, die Projektionsgeometrie und dergleichen der Röntgenaufnahme  $I$  enthalten kann. Anhand dieser Angaben kann sichergestellt werden, dass nicht zwei Bilder

30 gleichen Bildinhaltes, die zum Beispiel bei Wiederholungsaufnahmen entstehen, zur Ermittlung von potentiellen Defekten verwendet werden, da hierdurch künstlich Korrelationen erzeugt würden. Ziel ist es vielmehr, nur jeweils eine einzige Aufnahme mit

gleichen derartigen Parametern zu verwenden. Des Weiteren können durch die zusätzlichen Parameter solche Bildelemente identifiziert werden, die nur unter bestimmten Randbedingungen defekt sind. Diesbezüglich können unterschiedliche Defektkarten für verschiedene Bereiche der Aufnahmeparameter erzeugt werden, oder es kann äquivalent in einer Defektkarte jedem Defekt ein Gültigkeitsbereich an Randbedingungen zugeordnet werden. Mit Hilfe der so erweiterten Defektkarten können spezielle Temperaturbedingungen, Einschaltbedingungen und dergleichen jeweils optimal korrigiert werden.

In regelmäßigen Abständen (z.B. alle ca. 100 Röntgenaufnahmen, einmal täglich oder bei jedem Systemstart) erfolgt das Auffrischen der Defektkarte D mit Hilfe der wie in Figur 2 beschriebenen ermittelten Karten C\_map und T\_map. Dabei wird für jedes Bildelement p zunächst überprüft, ob es in der Testzahl-Karte T\_map häufiger als eine Mindestanzahl Td mal (z.B. Td=30) eingetragen wurde. Weiterhin wird anhand der Karte C\_map der potentiellen Defekte überprüft, ob es öfter als eine weitere Mindestanzahl Te (z.B. Te=3) mal als potentieller Defekt klassifiziert wurde.

Verlaufen die vorstehenden Tests positiv, so wird der Prozentsatz berechnet, mit dem das Bildelement p als Defekt klassifiziert wurde (d.h. der Quotient der Einträge für p in C\_map und T\_map). Falls dieser Prozentsatz über einer kritischen Schwelle Tc (z.B. Tc=10%) liegt, wird das Bildelement p in die Defektkarte D eingetragen.

Nach einem solchen automatischen Auffrischen der Defektkarte wird vorzugsweise ein Vergleich der Anzahl der darin verzeichneten Defekte mit einer vorgegebenen Maximalzahl vorgenommen, bevor die Defektkarte verwendet wird. Auf diese Weise kann der Einsatz einer Defektkarte mit einer unzulässig hohen Anzahl verzeichneter Defekte vermieden werden. Optional kann ein Benutzer auf das Vorliegen der hohen Defektzahl hingewiesen werden.

Das oben anhand von Figur 2 erläuterte Verfahren kann in vielerlei Hinsicht erweitert und abgewandelt werden. Eine mögliche Erweiterung besteht darin, die Detektion von Defektkonstellationen zu ermöglichen, bei denen zwei oder mehr defekte Bildelemente zusammenhängend nebeneinander liegen. Wenn z.B. zwei benachbarte Pixel aufgrund

- eines Defektes extrem hohe Werte zeigen, ließe sich dies mit dem einfachen Verfahren von Figur 2 nicht erkennen, da jedes der beiden defekten Pixel von seiner Nachbarschaft (welche das andere defekte Pixel enthält) nicht auffällig abweicht. Um solche Situationen zu erfassen, können in Abwandlung von Block 12 als Vergleichswerte der zweitgrößte bzw.
- 5 zweitkleinste aller Nachbarwerte herangezogen werden, d.h.  $G_o := \max_2(n(p))$ ,  $G_u := \min_2(n(p))$ . Extremwerte von eventuell defekten Nachbar-Bildelementen sind dann für die Analyse unschädlich.

- Gemäß einer anderen Weiterbildung des Verfahrens werden in der Kandidatenkarte
- 10  $C_{map}$  geschätzte Wahrscheinlichkeitswerte dafür eingetragen, dass ein als potentiell defekt klassifiziertes Bildelement tatsächlich defekt ist. Diese können beispielsweise basierend auf dem Abstand des zugehörigen Bildelementwertes  $W(p)$  von den Nachbarschaftswerten  $G_u$ ,  $G_o$  bestimmt und bei der späteren Übernahme eines potentiellen Defektes in die endgültige Defektkarte berücksichtigt werden.

- 15 Des Weiteren kann die Berechnung einer vorläufig korrigierten Röntgenaufnahme  $I_{kor}$  in Block 18 differenzierter ausgeführt werden und z.B. sowohl die aktuelle Defektkarte  $D$  als auch die momentane Kandidatenkarte  $C_{map}$  verwenden. Hierdurch würden auch fehlerhafte Interpolationen in der vorkorrigierten Röntgenaufnahme  $I$  berichtigt, die an
- 20 solchen Stellen der Defektkarte  $D$  auftreten, welche an erst in  $C_{map}$  erkannte Defekte angrenzen.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Korrektur von Defekten in Röntgenaufnahmen (R) mit Hilfe einer Defektkarte (D), umfassend die Schritte:
  - a) Klassifizierung von Bildelementen (p) einer mit der aktuellen Defektkarte (D) vorkorrigierten Röntgenaufnahme (I) als "potentiell defekt", wenn ihr Wert ( $W(p)$ ) um ein gegebenes Maß vom Intervall ( $[G_u, G_o]$ ) der Bildelementwerte in einer zugeordneten Nachbarschaft ( $n(p)$ ) abweicht, und Speicherung der so klassifizierten Bildelemente (p) in einer Kandidatenkarte ( $C_{map}$ );
  - b) Aktualisierung der Defektkarte (D) durch alle Bildelemente (p) der Kandidatenkarte ( $C_{map}$ ), welche in mehreren Röntgenaufnahmen (I) als "potentiell defekt" klassifiziert wurden und welche gegebenenfalls weitere vorgegebene Kriterien erfüllen;
  - c) Korrektur von weiteren Röntgenaufnahmen (R) mit Hilfe der aktualisierten Defektkarte (D).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zusammen mit den als "potentiell defekt" klassifizierten Bildelementen (p) in Schritt a) die Aufnahmeparameter der jeweils zugehörigen Röntgenaufnahme (I) gespeichert werden, und dass jeweils für verschiedene Wertebereiche der genannten Aufnahmeparameter unterschiedliche Defektkarten erzeugt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufnahmeparameter die Strahlqualität, die Dosis, die Detektortemperatur und/oder die Aufnahmegeometrie betreffen.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert ( $W(p)$ ) eines als "potentiell defekt" klassifizierten Bildelementes ( $p$ ) in einer Röntgenaufnahme ( $I$ ) in Abhängigkeit von den Werten der Bildelemente aus seiner Nachbarschaft ( $n(p)$ ) korrigiert wird.
- 5
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Röntgenaufnahme ( $I$ ) auf der Basis der aktuellen Defektkarte ( $D$ ) und der Kandidatenkarte ( $C_{map}$ ) erneut korrigiert wird.
- 10
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zugeordnete Nachbarschaft ( $n(p)$ ) eines Bildelementes ( $p$ ) so definiert wird, dass sie die Erkennung von aneinandergrenzenden defekten Bildelementen erlaubt.
- 15
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zugeordnete Nachbarschaft ( $n(p)$ ) eines Bildelementes ( $p$ ) diejenigen Bildelemente aus einer vordefinierten Umgebung umfasst, deren Bildelementwert mindestens eine vorgegebene Anzahl von Rängen hinter dem Maximum und/oder Minimum aller Bildelementwerte der gesamten Umgebung liegt.
- 20
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass solche Bildelemente von der Klassifizierung gemäß Schritt a) ausgeschlossen werden, für deren Umgebung die Bildpunktweite nicht in einem vorgegebenen Bereich ( $W_{min}$ ,  $W_{max}$ ) liegen.
- 25
9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Bildelemente ( $p$ ) einzelnen Bildpunkten oder Gruppen von Bildpunkten, insbesondere Zeilen oder Spalten von Bildpunkten entsprechen.
10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Bildelement ( $p$ ) als "potentiell defekt" klassifiziert wird, wenn sein Wert ( $W(p)$ ) unter dem Minimum bzw.

über dem Maximum der Werte der Bildelemente aus seiner zugeordneten Nachbarschaft ( $n(p)$ ) liegt.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgegebenen Kriterien  
5 in Schritt b) umfassen, dass das Bildelement ( $p$ ) mindestens in einer vorgegebenen Zahl von Röntgenaufnahmen ( $I$ ) untersucht wurde, dass das Bildelement ( $p$ ) in mindestens einer vorgegebenen Zahl von Fällen als "potentiell defekt" klassifiziert wurde, und/oder dass das Bildelement ( $p$ ) in mindestens einem vorgegebenen Prozentsatz der untersuchten Fälle als "potentiell defekt" klassifiziert wurde.
- 10 12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Defektkarte ( $D$ ) mit Hilfe der erzeugten Röntgenaufnahmen ( $I$ ) fortlaufend aktualisiert wird.
13. Datenverarbeitungseinrichtung zur Korrektur von Defekten in Röntgenaufnahmen ( $R$ )  
15 mit Hilfe einer Defektkarte ( $D$ ), wobei die Datenverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, die folgenden Schritte auszuführen:
- a) Klassifizierung von Bildelementen ( $p$ ) einer mit der aktuellen Defektkarte ( $D$ )  
vorkorrigierten Röntgenaufnahme ( $I$ ) als "potentiell defekt", wenn ihr Wert ( $W(p)$ )  
um ein gegebenes Maß vom Intervall ( $[G_u, G_o]$ ) der Bildelementwerte in einer  
20 zugeordneten Nachbarschaft ( $n(p)$ ) abweicht, und Speicherung der so klassifizierten Bildelemente ( $p$ ) in einer Kandidatenkarte ( $C_{map}$ );
  - b) Aktualisierung der Defektkarte ( $D$ ) durch alle Bildelemente ( $p$ ) der  
Kandidatenkarte ( $C_{map}$ ), welche in mehreren der Röntgenaufnahmen ( $I$ ) als  
"potentiell defekt" klassifiziert wurden und welche gegebenenfalls weitere  
25 vorgegebene Kriterien erfüllen;
  - c) Korrektur von weiteren Röntgenaufnahmen ( $R$ ) mit Hilfe der aktualisierten Defektkarte ( $D$ ).

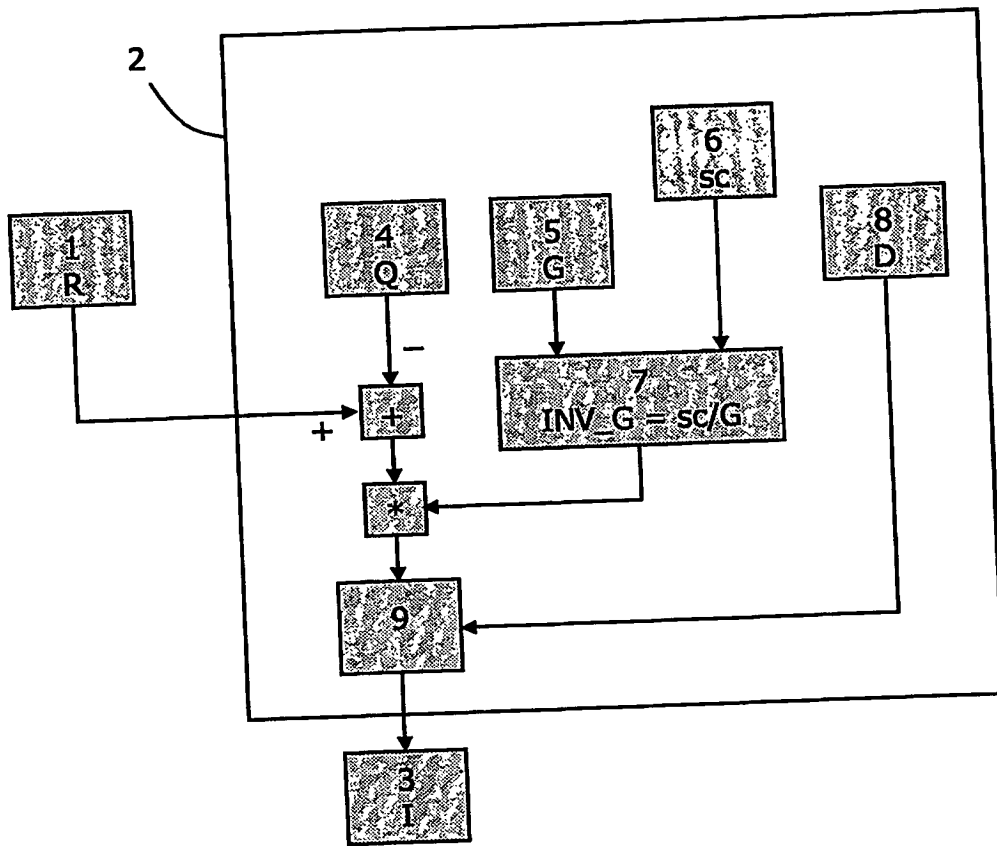


Fig. 1

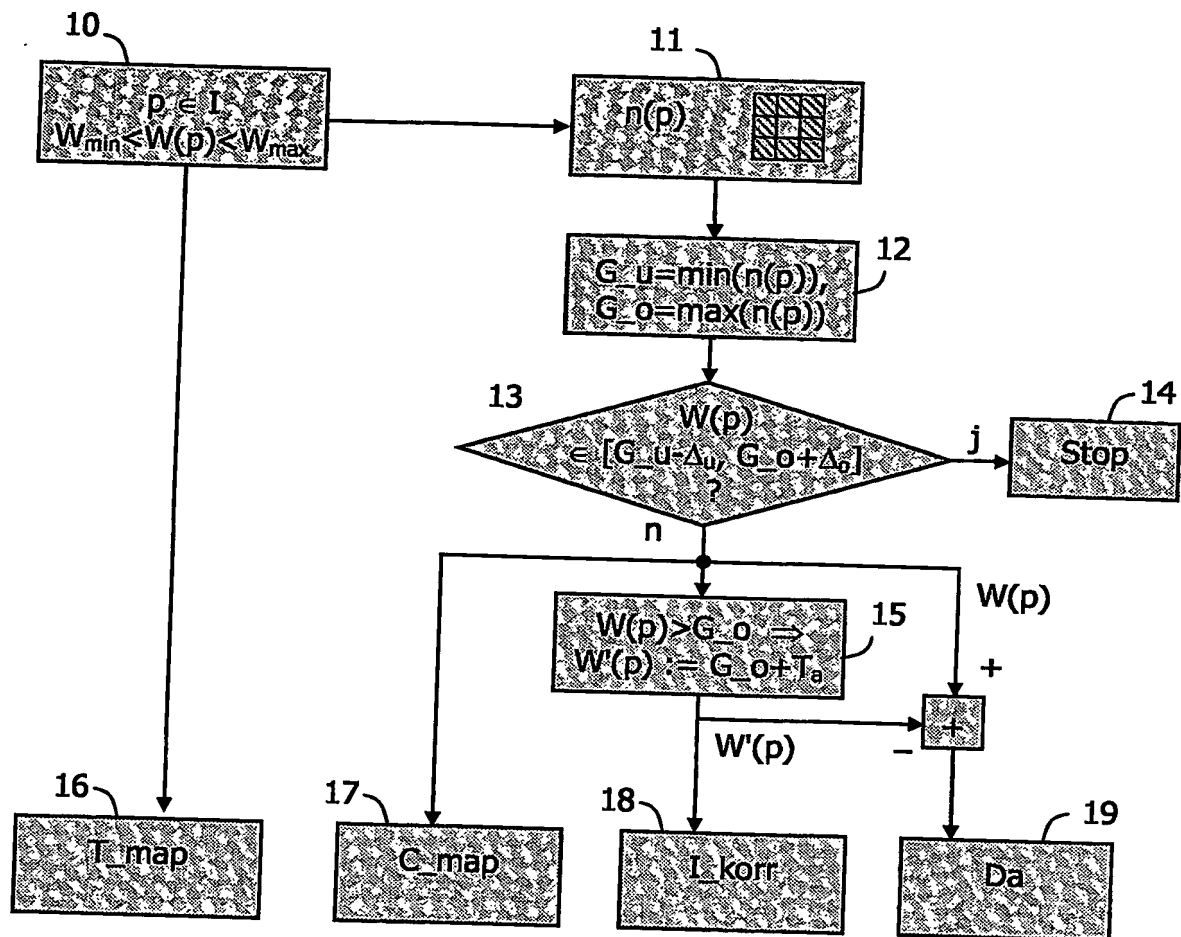


Fig. 2

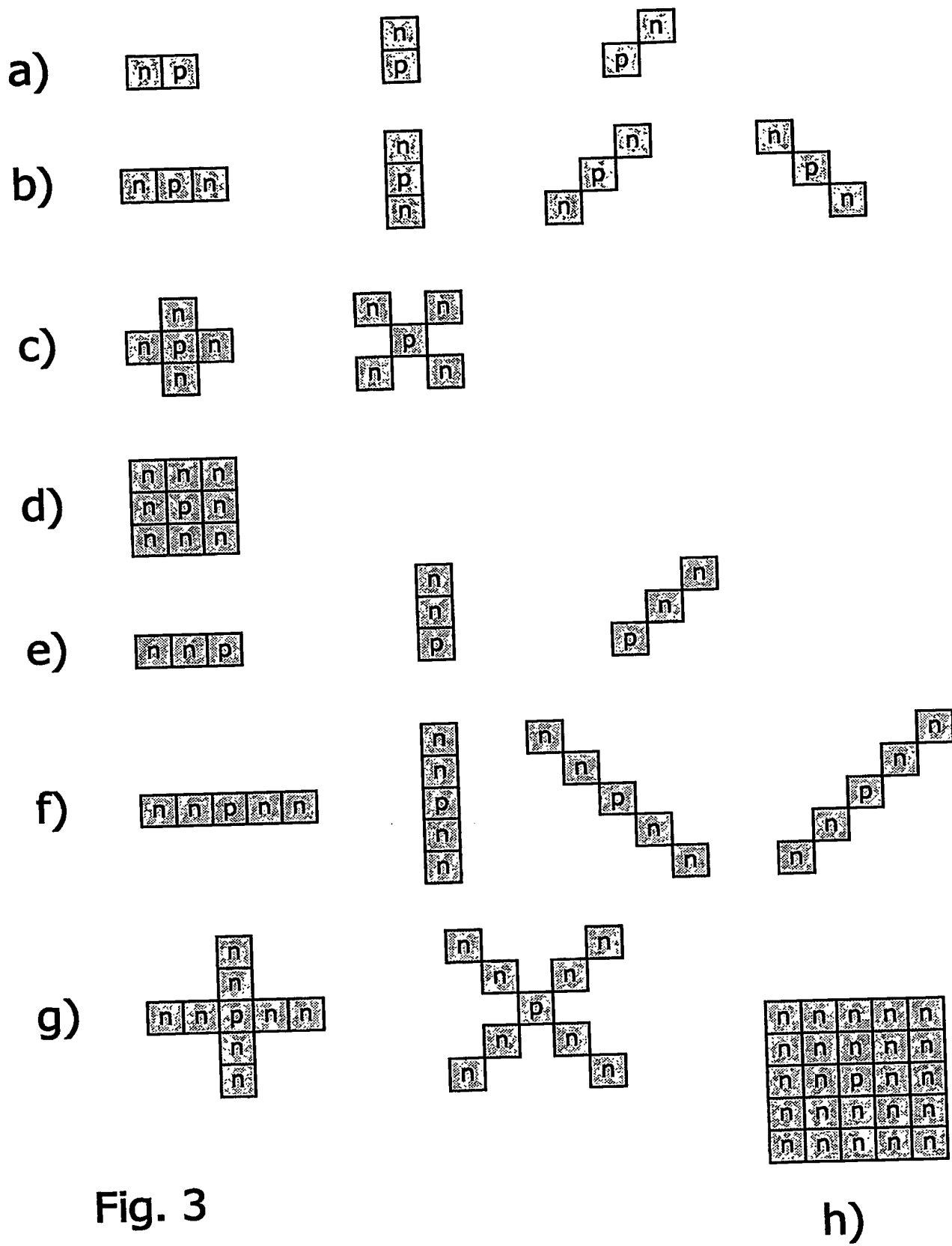


Fig. 3